

TÓPICO 4 – Património Histórico

Soluções Construtivas para Pavimentos e Coberturas em Edifícios Antigos

Nuno Almeida^{1,a} e Paulina Faria^{1,b}

¹Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

^an.almeida@fct.unl.pt, ^bmpmr@fct.unl.pt

Palavras-chave: Pavimentos; Coberturas; Compatibilidade; Reversibilidade; Exigências de funcionalidade

Resumo. Em edifícios antigos é frequente a necessidade de intervenções profundas ao nível dos pavimentos ou das coberturas existentes. As soluções de intervenção nas estruturas de pavimentos ou coberturas passam geralmente pela substituição parcial de peças de madeira que deixaram de cumprir os requisitos necessários, pela incorporação de materiais de isolamento acústico e de isolamento térmico e pela substituição ou tratamento de revestimentos. Mas verificam-se muitas situações em que a estrutura de pavimento ou cobertura tem de ser totalmente substituída ou introduzida, pelo que têm de se encontrar alternativas globais para os sistemas de pavimentos e de coberturas. As novas soluções deverão ser compatíveis com as paredes do edifício antigo, reversíveis, realizáveis através de sistemas construtivos simples, devendo ainda conferir aos elementos construtivos características adequadas ao cumprimento das exigências de funcionalidade actuais. Neste artigo procura realizar-se uma análise relativa a diferentes soluções construtivas aplicáveis em pavimentos e coberturas de edifícios antigos, utilizando diversos materiais e tecnologias construtivas disponíveis nos mercados nacional e internacional.

Introdução

As estruturas de pavimentos e de coberturas de muitos dos edifícios antigos são constituídas por elementos de madeira que descarregam directamente nas paredes, ou sobre frechais encastrados nessas paredes. As paredes desses edifícios geralmente são constituídas por alvenarias diversas: alvenarias de pedra aparelhada, alvenarias de tijolo maciço, alvenarias argamassadas (com pedaços de pedra e de outros elementos, vulgarmente designadas por alvenarias ordinárias), alvenaria de adobe ou taipa.

Em muitos destes edifícios é frequente a degradação dos elementos de madeira, pelo que surge a necessidade de intervenção a nível dos pavimentos ou das coberturas existentes, as quais poderão passar pelo reforço ou pela substituição parcial de peças de madeira que deixaram de cumprir os requisitos necessários, bem como pela substituição ou tratamento de revestimentos (de piso e tectos ou da cobertura, geralmente em telhado). Face às novas exigências funcionais e à luz da regulamentação construtiva, muitas das intervenções deverão, também, contemplar a incorporação de materiais de isolamento acústico (frequente em caso de pisos intermédios) e de isolamento térmico (fundamental em coberturas).

Por outro lado, perante as imposições de alguns projectos de arquitectura poderá também surgir a necessidade de subdivisão de pé-direito, com vista ao aumento da área útil respectiva e consequente necessidade de introdução de pavimento intermédio.

Dependendo do estado de degradação, bem como por imposições funcionais, verificam-se ainda muitas situações em que a estrutura de pavimento ou cobertura tem de ser totalmente substituída. Nesses casos, a substituição por estrutura de madeira semelhante à original muitas vezes não é

possível, devido a condicionantes de vária ordem. Têm então de encontrar-se alternativas globais para os sistemas de pavimento e de cobertura que sejam compatíveis com o edifício antigo (nomeadamente com as suas paredes, não contribuindo para a degradação destas), que sejam reversíveis, que simultaneamente sejam realizáveis através de sistemas construtivos simples, e ainda que confirmem aos elementos construtivos características adequadas ao cumprimento das exigências de funcionalidade actuais.

Considera-se que as soluções realizadas com base em estruturas correntes de betão armado geralmente não cumprem muitos dos pressupostos referidos antes. Para além disso, soluções que introduzam um aumento significativo das cargas através de um incremento dos respectivos pesos próprios, acabam por implicar a necessidade de reforço da própria estrutura das paredes e fundações (que, de outro modo, seria muitas vezes dispensável).

De referir que, quando se intervém em edifícios antigos, para além das condicionantes mencionadas deverá também ser considerado o valor patrimonial do edifício alvo de intervenção, pelo que as intervenções de recuperação/reabilitação deverão ser devidamente programadas.

Projecto de reabilitação de estruturas de pavimentos e coberturas de edifícios antigos

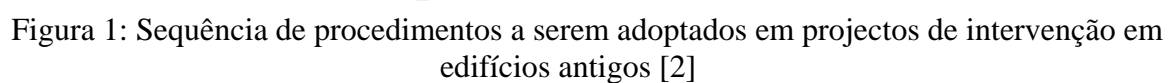
Tendo em consideração que todas as construções se degradam com o tempo, torna-se necessário, por parte dos intervenientes, conhecer e dominar as especificidades associadas aos projectos de intervenção em edifícios antigos, de forma a garantir o cumprimento dos princípios orientadores destas intervenções: princípio da autenticidade, princípio de intervenção mínima, princípio da reversibilidade e princípio da durabilidade [1].

Dados os princípios enumerados e a especificidade do património edificado, os projectos envolvendo intervenções de recuperação e/ou reabilitação em edifícios antigos (com especial incidência para edifícios classificados) deverão compreender quatro grandes etapas: **Anamnese e Análise; Diagnóstico; Terapia e Controlo**. Estas etapas correspondem, respectivamente, à compilação de informação histórica e análise preliminar, identificação das causas de anomalias e degradações, selecção das acções de consolidação ou de intervenção e monitorização e controlo da eficácia das intervenções [1].

Schueremans [2], a partir das recomendações elaboradas pelo ICOMOS [1], elaborou o fluxograma apresentado na Fig. 1, que deverá ser seguido num projecto de intervenção, em especial nos casos que envolvam imóveis com valor patrimonial, em que se procure assegurar o cumprimento dos princípios enumerados.

Interessa aqui diferenciar os diferentes níveis de valor patrimonial ao nível do edificado antigo, distinguindo entre vários grupos, desde edificado corrente até aos monumentos. No entanto, considera-se que, embora a níveis diferentes, estas recomendações podem ser aplicáveis a todos os casos.

Com o intuito do cumprimento dos referidos princípios e uma vez que, dependendo do estado de degradação, existem inúmeras soluções de intervenção em pavimentos e coberturas (consolidação, reparação localizada, substituição parcial ou integral), todos as diferentes fases de um projecto de reabilitação destes elementos construtivos deverá ser devidamente programado, de modo às opções tomadas serem sustentadas. Para além de factores de ordem técnica, o estado de degradação do elemento alvo de intervenção e outros factores respeitantes ao seu valor patrimonial e do próprio edifício deverão também ser considerados.



Note-se que, à luz das recomendações internacionais relativas à prática da conservação, e em especial quando se trate de edifícios de valor patrimonial, a primeira opção a equacionar deverá ser sempre a possibilidade de manutenção dos materiais originais. Esta opção geralmente é a solução mais ecológica e sustentável, bem como poderá ser a mais económica. No entanto, em edifícios de habitação, face às exigências de conforto térmico e acústico, bem como à necessidade de execução de novas instalações técnicas (abastecimento de água e drenagem de águas residuais, electricidade, telecomunicações, etc.), por vezes têm de se encontrar alternativas globais para os sistemas de pavimentos e de coberturas que sejam compatíveis com o edifício antigo

Deste modo, numa primeira fase deverá ser realizada uma inspecção visual, da qual, geralmente, resulta um levantamento de patologias. Em elementos de madeira, a inspecção visual poderá ser complementada com métodos de avaliação expeditos, como por exemplo a resistência à penetração de uma lâmina metálica ou a avaliação do som obtido por percussão de um martelo sobre os elementos, que permitem por vezes identificar a extensão da degradação provocada pelo ataque de xilófagos [3].

O levantamento de patologias revela-se de extrema importância para a avaliação do estado de degradação, bem como para a compreensão dos fenómenos que estão na sua origem. No entanto, sabendo-se que as principais anomalias de pavimentos e coberturas de edifícios antigos encontram-se associadas à deterioração da madeira provocada pela acção da humidade, por vezes torna-se fundamental estender a inspecção visual não só às estruturas de pavimentos e coberturas mas ao edifício no seu todo. Assim, a inspecção visual deverá, tanto quanto possível, permitir o acesso a todos os elementos estruturais de madeira, sobretudo nos pontos considerados como críticos (pontos onde geralmente se detecta maior degradação), nomeadamente: zonas pouco ventiladas, pavimentos das zonas húmidas (cozinhas e casas de banho), zonas onde ocorreram condensações e entregas dos vigamentos às alvenarias [4].

Uma primeira inspecção geral de uma estrutura de madeira ou dos seus elementos poderá constituir, geralmente, um bom indicador das condições gerais de segurança da construção, bem como da existência de certos problemas associados ao estado de degradação dos elementos de madeira ou das suas ligações (por ligadores metálicos ou outros).

Como complemento à inspecção visual, deverá ser efectuada uma investigação histórica, abrangendo a vida completa do edifício, incluindo todas as modificações e intervenções que tenham sido implementadas, de modo a permitir um maior conhecimento sobre a sua concepção, as técnicas de construção utilizadas, os processos de degradação e danos ocorridos, alterações que a tenham afectado e, finalmente, sobre o seu estado actual [1].

Posteriormente à inspecção visual e ao levantamento histórico, caso subsistam dúvidas quanto à segurança das estruturas ou caso se pretendam estudos mais aprofundados, deverá ser realizado um diagnóstico envolvendo ensaios, de preferência com recurso a técnicas não destrutivas, realizados *in situ* e/ou laboratoriais, que possibilitem uma avaliação mais aprofundada, bem como a identificação do tipo de madeira, do seu estado de degradação e das características físico-mecânicas relevantes (humidade, massa volúmica e módulo de elasticidade), e das resistências residuais da estrutura de madeira [4]. Actualmente existem inúmeras técnicas que permitem a avaliação das características mencionadas [4].

Apesar das limitações inerentes aos ensaios, as informações recolhidas nesta fase poderão revelar-se de extrema importância quando a intervenção incida em acções de reparação e substituição parcial

Só após terminada a fase de diagnóstico é possível estabelecer as bases para a determinação do tipo de intervenção a realizar: conservação, consolidação, reparação localizada, substituição parcial ou integral.

Diferentes tipos de intervenções em reabilitação estrutural de estruturas de madeira de pavimentos e coberturas

Como referido anteriormente, as intervenções a nível dos pavimentos e coberturas poderão envolver reparações e/ou substituições pontuais dos elementos de madeira, bem como a substituição integral da estrutura. A opção pelo tipo de intervenção a efectuar deverá ter em consideração o estado de degradação dos materiais existentes, bem como o comportamento estrutural do conjunto de elementos. De acordo com a metodologia anteriormente exposta, esta fase deverá ser precedida pelo diagnóstico da estrutura e dos seus materiais, que permitam uma opção devidamente fundamentada.

a) Reparações e substituições pontuais

Conforme já referido, sempre que possível e de acordo com as recomendações internacionais, deverá optar-se por intervenções o menos intrusivas possíveis. Geralmente, quando o estado de conservação dos materiais e o cumprimento das exigências funcionais actuais assim o permitem, este requisito é garantido através de pequenas intervenções de reparação e/ou substituição pontual.

Segundo Mettem e Robinson [5], as técnicas de reparação e de substituição pontuais mais utilizadas podem incluir-se nos seguintes métodos:

- Método tradicional - substituição dos elementos de madeira degradados por novas peças de dimensões e propriedades semelhantes às originais;
- Método mecânico - recuperação estrutural através da incorporação de elementos de ligação metálicos;
- Método adesivo - utilização de colas e argamassas epoxídicas combinadas com varões metálicos ou perfis compósitos (do tipo dos FRP's).

Tipicamente, os reforços mecânicos podem ser executados com recurso a técnicas tradicionais, especialmente indicadas para pequenas reparações, através da adição de novos ligadores metálicos, substituição do elemento, aplicação de empalmes, reparação de fendas da madeira com parafusos, grampos e através de cintagem [3]. Quando os elementos a reparar apresentam deformações excessivas, a reparação poderá ser efectuada através de aplicação de pré-esforço exterior. Esta técnica consiste em introduzir na estrutura uma deformação contrária à existente, de forma à combinação de ambas posicionar o elemento com a deformação pretendida. A sua execução requer o controlo estrutural, bem como mão-de-obra especializada [3].

Nos últimos anos, com o desenvolvimento das fibras de vidro e fibras de carbono, tem-se assistido ao reforço estrutural de elementos de pavimento e coberturas com a incorporação destes materiais. Segundo Feio [6], estes elementos permitem a reparação de danos estruturais severos, apresentando como vantagens:

- Aumento da resistência e da rigidez à flexão dos novos elementos;
- Melhoria das propriedades estruturais de classes de madeira de menor qualidade;
- Permitir a utilização de elementos com menores secções transversais, mantendo a rigidez e resistência dos elementos não reforçados.

No entanto, aquando do reforço de estruturas de madeira com estes materiais, Tingley (citado em [7]) considera que deverá ter-se em consideração o comportamento da união fibra-madeira, a estabilidade dimensional da madeira em relação à fibra e as porosidades da fibra utilizada e da própria madeira. Para além destes condicionantes, o mesmo autor refere o comportamento inadequado do reforço com fibras poliméricas, devido ao mau comportamento dos materiais adesivos das fibras, os quais, sob a acção de altas temperaturas, provocam a perda de aderência entre a fibra e a madeira.

b) Substituição integral das estruturas existentes ou criação de nova estrutura intermédia

No caso de intervenções mais intrusivas, como sejam os casos da substituição integral dos elementos constituintes da estrutura de madeira ou pavimentos, ou ainda da introdução de novo pavimento, tem sido prática corrente a utilização de diversas soluções envolvendo estruturas compostas pelos seguintes materiais [6]:

- Madeira;
- Betão armado;
- Elementos metálicos.

Em muitas situações surge ainda a hipótese de se recorrer a soluções utilizando a combinação dos materiais mencionados.

b.1) Utilização de elementos de madeira

No que concerne à substituição de vigamentos e outros elementos de madeira, esta poderá ser efectuada através da introdução de novos elementos de madeira maciça ou através de elementos de produtos derivados de madeira.

Segundo Mettem et al. [8], as vantagens da construção de estruturas exclusivamente de madeira são:

- Leveza (face às estruturas de betão armado), evitando a necessidade de reforços estruturais em especial ao nível das fundações;
- Simplicidade e rapidez de montagem, diminuindo o período de tempo de construção e consequente redução dos custos de obra;
- Potencial para propiciar excelentes soluções do ponto vista térmico e acústico (permitindo a aplicação entre as vigas de madeira de materiais com características de isolamento térmico e acústico);
- Processo de construção seco e dispensando o uso de cofragens (tendo como consequência a redução dos custos de mão-de-obra e de equipamentos associados à montagem e desmontagem das cofragens);
- Recurso a prefabricação, da qual poderão advir produções eficientes do ponto de vista da qualidade ambiental, através da redução dos desperdícios e ainda de áreas para estaleiro em obra (muitas vezes condicionante em centros urbanos antigos);
- Baixo consumo de energia na produção de elementos de madeira;
- Possibilidade de reutilização dos elementos de madeira.

b.1.1) Soluções com base em elementos estruturais de derivados de madeira

No entanto, o uso de madeira maciça poderá implicar o abate de árvores, nomeadamente de algumas espécies tropicais em vias de extinção, as quais possuem boas características mecânicas e físicas, bem como problemas ambientais associados à redução do número de árvores. Com o desenvolvimento de produtos compósitos de madeira surgiram alternativas ao uso de madeira maciça permitindo, assim, fazer face aos problemas ambientais. Entre estas alternativas, destacam-se sistemas com vigas de lamelados colados, com forte aplicação em grandes vãos, como foi o caso da cobertura do Pavilhão Atlântico em Lisboa, e sistemas com vigas em I de derivados de madeira, mais vocacionados para os edifícios de habitação.

As vigas em I são constituídas pelos banzos, tipicamente em placas de micro-lamelado colado ou de placas de madeira maciça, e pela alma, em placas de OSB (placas de aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas) ou contraplacado [9]. Estes elementos prefabricados de derivados de madeira têm sido aplicados na construção de estruturas de pavimentos e de coberturas, substituindo os pesados sistemas construtivos de madeira maciça, de betão armado e de estruturas metálicas.

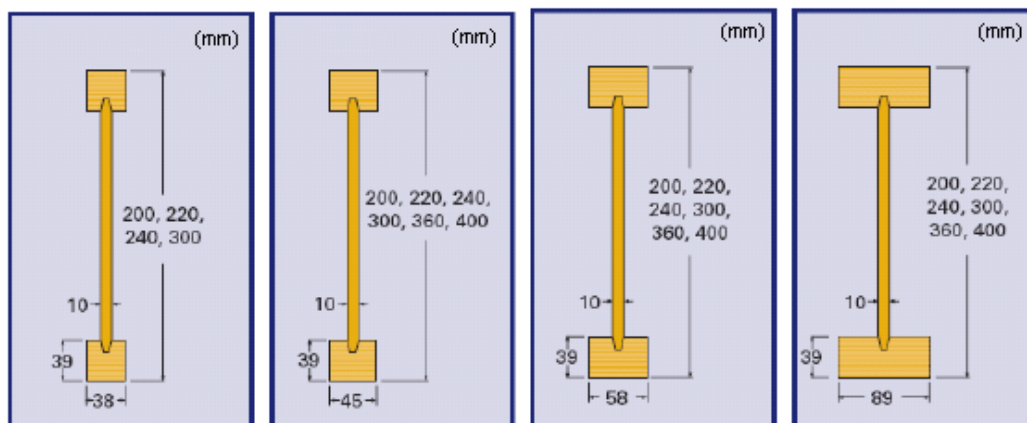


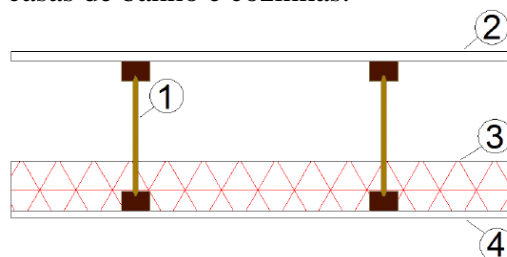
Figura 2: Exemplos de secções de vigas I disponíveis no mercado nacional [10].

Actualmente existem no mercado soluções, com o recurso a vigas em I de derivados de madeira, tipificadas para a construção de pavimentos e coberturas [10].

Quando comparados com as estruturas de madeira maciça, apresentam a vantagem de resultarem elementos mais leves, o que apresenta vantagens em termos estruturais, uma vez que reduz os esforços introduzidos nas alvenarias. No caso concreto das coberturas e pavimentos de edifícios, conferem-lhes melhor comportamento face a acções horizontais, como seja o caso dos sismos. Por outro lado, o reduzido peso próprio destes elementos, quando comparado com o peso próprio da madeira maciça, confere uma maior facilidade de aplicação em obra, reduzindo o tempo de execução e, consequentemente, os custos de mão-de-obra e equipamentos associados à sua aplicação. Acresce ainda que, por serem compostos por elementos de derivados de madeira, apresentam maior uniformidade em termos de resistência, rigidez e massa, bem como uma maior estabilidade dimensional, permitindo, também, a sua utilização em vãos comparativamente maiores. Outra das grandes vantagens associada a esta solução construtiva resulta do facto da alma dos elementos poder ser facilmente perfurável, permitindo a passagem de condutas técnicas (rede eléctrica, de telecomunicações, de abastecimento de água, de drenagem de águas residuais, de climatização ambiente), fundamentais para dotar os edifícios de possibilidades de cumprimento das exigências funcionais requeridas segundo os padrões actuais [9].

Os revestimentos de tectos poderão ser garantidos pela fixação de placas de gesso cartonado nos banzos inferiores das vigas.

No caso dos pavimentos, os revestimentos de piso podem ser executados através da fixação directa de placas de OSB aos banzos das vigas. Dadas as características mecânicas destas placas, e dependendo da sua espessura, é possível a fixação directa sobre os vigamentos de piso, vencendo o espaçamento destas. Por outro lado, a baixa porosidade destas placas e, consequentemente, os valores reduzidos de absorção de água que apresentam, permitem também a sua aplicação nas zonas húmidas, como são os casos de casas de banho e cozinhas.



Legenda:

1. Viga I
2. 18mm de OSB ou aglomerado de 22 mm (revestimentos)
3. 100mm de Lã de Vidro
4. 15mm de gesso cartonado ou 12,5mm de gesso ignífugo

Figura 3: Exemplo da laje de um piso com estrutura em vigas em I

Os revestimentos finais de piso serão aplicados directamente sobre as placas de OSB, podendo ser aplicado qualquer tipo de revestimento: flutuante, soalho, cerâmico, vinílico ou com base em linóleo. Note-se, contudo, que nas zonas húmidas (casas de banho e cozinhas) deverá ter-se algum cuidado na selecção dos materiais de revestimento e ainda na concepção e execução dos respectivos remates (entre elementos de revestimento, com paredes em rodapés, etc.).

Os revestimentos de coberturas inclinadas continuam geralmente a ser realizados em telha cerâmica, por vezes reutilizando as telhas antigas, sobre estrutura intermédia de ripado. Em determinadas situações de reabilitação, o revestimento a telha é executado sobre chapas de subtelha, essencialmente em casos em que é utilizada a telha de canudo, de modo a facilitar a sua aplicação.

No caso concreto de pisos intermédios ou de coberturas de edifícios em áreas com elevado ruído aéreo torna-se essencial uma melhoria do isolamento acústico, por exemplo através da aplicação de lãs minerais entre as vigas.

Quando se trate de coberturas, para além do isolamento acústico eventualmente necessário, deverá sempre ser assegurado o necessário isolamento térmico. Com base no actual Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios [11], os valores máximos do coeficiente de transmissão térmica de coberturas são de $1,25 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ para a zona climática mais favorável (I1) até $0,90 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ para a zona mais desfavorável (I3), enquanto os respectivos valores de referência recomendáveis se situam entre $0,50 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e $0,40 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, para as mesmas zonas. Verifica-se que, para o cumprimento dos requisitos mínimos (não excedendo os valores máximos), as coberturas necessitam de, pelo menos, 4 cm de material de isolamento térmico colocado entre os elementos da estrutura (aplicação do isolamento térmico de forma descontínua) ou sob esses elementos (aplicação de forma contínua). Particularmente para o cumprimento dos valores de referência (associados a situações de cobertura com maior resistência térmica relativamente ao mínimo regulamentar), as coberturas necessitam de incrementar bastante a espessura da camada de material de isolamento térmico colocada (em alguns casos para camadas superiores a 10 cm). Em qualquer uma das situações, a possibilidade do isolamento térmico poder ser introduzido entre os elementos da estrutura permite que a sua espessura não interfira com o pé-direito livre da área habitável sob a vertente inclinada, o que poderia ser condicionante em alguns edifícios. Situação semelhante pode ocorrer em pavimentos de separação de espaços considerados não aquecidos. Em situações em que simultaneamente se pretenda melhorar o isolamento térmico e o acústico, devem assim ser utilizados como materiais de isolamento placas de aglomerados de cortiça ou lãs minerais (em mantas ou placas); em situações em que apenas o isolamento térmico seja condicionante, para além destes materiais poder-se-ão utilizar outros, como sejam os materiais de síntese (casos correntes dos poliestirenos). No entanto, neste tipo de utilizações deverá ter-se atenção ao comportamento ao fogo dos materiais de isolamento térmico/acústico escolhidos e à sua inserção no elemento construtivo, nomeadamente no que respeita à garantia de não libertação de gases tóxicos para o interior da zona habitável.

b.2) Sistemas de estrutura com base em perfis metálicos

b.2.1) Utilização de perfis de aço de alto-forno

Por vezes, quando se pretendem aplicações com soluções de madeira maciça, poderá ser necessário recorrer a madeiras exóticas, por estas possuírem maiores resistências; no entanto, esta alternativa, do ponto de vista ambiental, deverá ser evitada. Um tipo de intervenção em estruturas de pavimentos ou coberturas de madeira pode ser a sua substituição integral por estruturas com base em perfis metálicos. Estas soluções geralmente têm como grande vantagem o facto de permitir vencer maiores vãos, bem como utilizar soluções mais esbeltas, quando comparadas com as de madeira maciça de, por exemplo, pinho bravo. Esta situação por vezes é uma imposição do projecto de arquitectura, para determinação do pé direito.

Quando comparada com as soluções estruturais de betão armado, este tipo de solução poder-se-á considerar uma solução mais reversível e, em termos estruturais, constitui uma solução mais ligeira, o que poderá constituir uma vantagem no caso de solicitações horizontais.

Do ponto de vista do comportamento térmico e acústico dos edifícios, permite soluções muito idênticas às referidas anteriormente, isto é, aplicação de materiais de isolamento térmico e/ou acústico entre as vigas metálicas. Quanto ao tipo e metodologia de aplicação de revestimentos permite também soluções muito idênticas às referidas no caso das estruturas com base em madeira. Uma das limitações das soluções de estruturas de aço (obtido em alto-forno) poderá ser a massa das peças metálicas, exigindo, na maior parte dos casos, equipamento mecânico de elevação, como por exemplo gruas (que, em determinadas obras de reabilitação, designadamente em alguns bairros mais antigos com ruas estreitas, nem sempre são possíveis de instalar).

b.2.1) Utilização de aço enformado a frio

Nos últimos tempos, com o desenvolvimento do aço leve (enformado a frio) tem-se assistido à utilização de soluções estruturais, em especial em recuperações de estruturas de coberturas e pavimentos, com base neste material. Os elementos de aço enformados a frio têm origem em chapas de aço que, através de dois processos distintos, são dobrados e levados à forma final: laminagem e quinagem/prensagem. Os elementos estruturais de aço enformado a frio podem dividir-se em duas categorias: perfis e chapas perfiladas [12]. Geralmente as intervenções com base em perfis de aço leve para pavimentos e coberturas constituem soluções integradas de estrutura e revestimentos, enquanto a utilização das chapas perfiladas encontra-se associada à execução de lajes mistas de aço-betão (vidé b.3.2).

Segundo Silvestre e Camotim [12], os perfis de aço leve, quando comparados com os perfis laminados a quente, registam a vantagem de apresentar elevados quocientes entre a resistência e o peso próprio, e consequentemente uma significativa optimização estrutural. Desta forma, as estruturas de perfis em aço leve permitem obviar os problemas associados à implementação em obra das clássicas estruturas metálicas. Isto é, as soluções estruturais com base em aço leve, por se tratarem de soluções leves, permitem que possam ser transportados e instaladas sem recurso a maquinaria pesada, o que poderá constituir uma grande vantagem em intervenções em centros históricos urbanos, com grandes condicionamentos ao nível de espaço para a instalação de estaleiro.

Associado ao reduzido peso próprio dos perfis, estas soluções poderão permitir a substituição de estruturas de pisos e coberturas, bem como a introdução de pisos (por exemplo, a execução de pisos intermédios, aproveitando o elevado pé-direito de alguns edifícios antigos), sem ser necessário o reforço das fundações ou das paredes de alvenaria (dependendo do estado de degradação destas). Por outro lado, à semelhança do referido para as soluções com base em vigas de derivados de madeira, a leveza destas soluções apresenta também algumas vantagens do ponto de vista estrutural, em especial no caso de solicitações horizontais, como por exemplo no caso de ocorrência de um sismo.

O cálculo das estruturas com base em aço leve é realizado de acordo com o Eurocódigo 3-1-3, sendo que existem no mercado perfis de aço leve de diferentes secções que permitem fazer face a diversas solicitações [12]. Em termos construtivos, à semelhança das soluções de estruturas de madeira, trata-se de uma solução de construção seca, dispensando o uso de cofragens e escoramentos, pelo que se poderá conseguir a redução do tempo de obra, bem como a redução dos custos associados a essas operações. Por outro lado, exige uma mão-de-obra especializada, a que geralmente se associa um maior custo directo; no entanto, associada à maior especialização dos operários, poder-se-ão obter maiores rendimentos e consequentemente atingir a redução do tempo de execução e dos custos associados.

No caso de obras de recuperação de edifícios antigos, os perfis de aço poderão ser fixados às alvenarias com buchas de ancoragem, providas de porca de aperto, ou através de buchas químicas. Em muitos casos constitui prática comum os perfis perpendiculares às paredes de alvenaria serem fixados a cantoneiras metálicas encastradas às paredes de alvenaria, através de buchas químicas ou

varões de ancoragem, selados com caldas de injeção não retrácteis. A fixação entre os vários perfis geralmente é realizada com recurso a parafusos de aço galvanizado, auto-perfurantes e auto-roscantes [13]. Posteriormente procede-se à fixação, sobre os perfis metálicos, de placas de OSB por intermédio de parafusos. Sobre estas, à semelhança de que se referiu para as soluções integradas de pavimentos e coberturas com base em vigas em I de derivados de madeira, poderá ser aplicado qualquer tipo de revestimento. Os revestimentos de tecto poderão ser executados com placas de gesso cartonado. O espaçamento entre perfis permite também que sejam aplicados materiais com características de isolamento térmico e acústico, bem como a passagem de cablagens de qualquer tipo de instalações. Assim, do ponto de vista das exigências de conforto térmico e acústico, este tipo de solução permite obter elevados níveis de conforto.



Figura 4: Colocação de bucha química



Figura 5: Exemplo de uma cobertura com estrutura de perfis de aço leve revestida a placas de OSB

Para além das vantagens do ponto de vista construtivo e estrutural mencionadas, quando comparado com o aço de alto-forno, o aço galvanizado a frio é, do ponto de vista ambiental e sustentável, uma solução mais vantajosa, uma vez que o seu processo de fabrico envolve um menor consumo de energia, bem como permite uma maior reutilização de aço reciclado para a sua produção [15].

b.3) Sistemas com base em betão

b.3.1) Lajes maciças de betão armado

Em muitas obras de reabilitação de edifícios antigos, e em especial nos casos em que se tem procedido à demolição completa do interior dos edifícios, mantendo apenas a fachada, tem sido prática comum a substituição das antigas estruturas de madeira, quer de pavimentos, quer de coberturas, por outras de betão armado. No entanto, tendo em consideração o funcionamento estrutural das alvenarias antigas, e apesar destas possuírem elevadas resistências a acções verticais, as novas estruturas de betão armado, dada a sua elevada massa, introduzem cargas verticais elevadas, o que por vezes pode tornar necessário o reforço das fundações. Por outro lado, quando as alvenarias apresentam alguma degradação e, conseqüentemente, a sua capacidade resistente encontra-se diminuída, poderá tornar-se necessário proceder ao reforço destas. O reforço das alvenarias, consoante os casos, poderá ser efectuado por diferentes métodos: injeção de caldas para consolidação do núcleo central ou através da introdução de uma camada superficial em betão armado (geralmente com redes electrossoldadas) pelo interior ou pelo interior e exterior do edifício. Esta última solução, para além de ser bastante intrusiva e irreversível, poderá também apresentar algumas consequências resultantes da incompatibilidade dos materiais (nomeadamente do betão com as alvenarias antigas, em termos de comportamentos físicos, químicos e mecânicos de ambos

os materiais). Veja-se o caso de existir alguma ascensão capilar na parede, através da fundação. A água vai movimentar-se ao longo da parede, arrastando consigo sais solúveis que provêm do terreno ou que existem na própria parede. Vai tender a migrar para as faces da parede mas vai encontrar nessas faces uma barreira à sua passagem por evaporação, constituída pelas camadas superficiais aí aplicadas. Com efeito, a permeabilidade ao vapor de água dos materiais constituintes das alvenarias antigas é muito superior à apresentada por argamassas ou betões projectados com base em cimento e daí essas camadas funcionarem quase como barreiras pára-vapor à migração que vai ocorrendo ao longo da parede. O vapor de água vai assim depositar-se no interior dessas camadas, concentrando nessas interfaces os sais solúveis que a água transportava. Como estes sais, para além de serem solúveis na água, são ainda higroscópicos, vão absorver água e dissolver-se, e libertar essa água e cristalizar, ciclicamente e sequencialmente, em função das condições de humidade relativa do ambiente. A dissolução e cristalização cíclica dos sais solúveis implicam variações significativas do seu volume, no seio da parede, onde ao fim de algum tempo produzem uma perda de resistência do material. A parede acaba por se ir degradando por falta de coesão, por trás da camada superficial do suposto reforço aplicado.

Ainda em relação à execução de lajes maciças de betão armado, deverá ter-se em consideração, para além do incremento das acções verticais, as consequências do aumento de massa quando a estrutura seja solicitada por acções horizontais, como é o caso das solicitações provocadas pelos sismos [16].

Deste modo, poderá considerar-se que este tipo de soluções, de uma maneira geral, são fortemente penalizadoras para a segurança estrutural do edifício, bem como poderão conduzir “à descaracterização das construções antigas, o que pode representar uma perda irreversível do seu valor patrimonial e arquitectónico” [16].

b.3.2) Sistema misto betão-madeira

Esta solução, vulgar em algumas obras de reabilitação, consiste em executar uma lâmina delgada de betão por cima dos vigamentos de madeira. A lâmina de betão poderá ser executada directamente sobre as tábuas de solho, servindo como cofragem da lâmina de betão, ou serem utilizadas novas tábuas como por exemplo placas de aglomerado de pasta de cimento e resíduos de madeira. Nestes últimos casos as placas de cimento-madeira poderão ser aplicadas sob ou entre os vigamentos de madeira. Por vezes surgem ainda variantes a este sistema, como sejam o caso do preenchimento com betão de agregados leves (como, por exemplo, grânulos de argila expandida), de modo a conferir uma maior solidarização entre os vigamentos de madeira.



Figura 6: Preenchimento do espaçamento entre vigas de madeira com betão de agregados leves



Figura 7: Escoramento de uma laje mista de madeira-betão

De uma maneira geral, poder-se-á dizer que a solução de laje mista consiste na execução de uma camada fina de betão armado leve, por cima do sistema de pavimento original, depois deste previamente tratado (dependendo do seu estado de conservação) [16].



Figura 8: Esquema de uma solução de execução de uma lâmina de betão, aproveitando a estrutura de pavimento existente [16]

Utiliza-se uma malha soldada, para fazer face aos fenómenos de retracção do betão, evitando a ocorrência de fissuras na face traccionada, e grânulos de argila expandida como agregados, de modo a reduzir o peso próprio deste elemento. Para que se estabeleça uma boa aderência da madeira ao betão, de modo a que os dois materiais funcionem como um todo, utilizam-se ligantes metálicos anticorrosivos (pregos, tubos de inox, treliças) [16].

Em termos de execução de obra, esta solução exige alguns cuidados especiais, nomeadamente a protecção dos elementos de madeira contra a acção da água no acto da betonagem (através da protecção das vigas de madeira com plástico) ou utilizando betão com aditivos que permitam a redução da relação água/ligante, os quais permitirão a redução da retracção do betão. Os sistemas de escoramento deverão ser mantidos por períodos mais prolongados que para os pavimentos de betão armado mais tradicionais [17].

Estas soluções, apesar de provocarem um aumento da carga vertical sobre o edifício, apresentam algumas vantagens, face a algumas das alternativas já apresentadas [16][17]:

- Permitem o aproveitamento do pavimento original como cofragem para a laje de betão;
- Constituem um sistema mais leve quando comparado com sistemas unicamente de betão armado, uma vez que a madeira é um material menos denso que o betão;
- Quando as conexões entre a madeira e o betão são bem executados, conseguem suportar cargas até 3 vezes superiores e pode possuir uma rigidez à flexão 6 vezes superior, quando comparado com os sistemas tradicionais de madeira;
- Conferem uma maior rigidez no plano horizontal (quando comparadas com os pavimentos de madeira), o que permite uma análise sísmica simplificada, considerando os pisos como diafragmas;
- Possuem maiores coeficientes de amortecimento quando comparados com os sistemas tradicionais de madeira, logo apresentam melhor comportamento face aos estados limites de utilização, nomeadamente para o caso da vibração;
- Quando comparadas com os sistemas tradicionais de madeira possuem melhor isolamento sonoro a sons aéreos devido à sua maior massa; devido ao maior amortecimento fornecem soluções superiores para o isolamento aos sons de precursor;
- Conferem melhor comportamento face à acção do fogo; a lâmina superior de betão funciona como uma barreira contra o fogo contribuindo para o aumento da reacção ao fogo face aos pavimentos tradicionais de madeira; adicionalmente as vigas de madeira têm um melhor resistência ao fogo quando comparados com as vigas metálica ou sistemas prefabricados de betão pré-esforçado.

b.3.3) Lajes mistas aço-betão

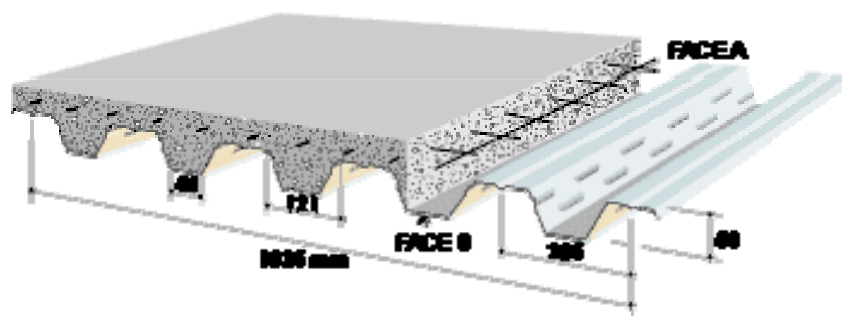


Figura 9: Exemplo de laje mista aço-betão [18]

Em obras de reabilitação a solução de lajes mistas de aço e betão armado é, por vezes, adoptada para pavimentos (em especial em zonas húmidas como casas de banho e cozinhas) em resultado da alteração das exigências funcionais ou de regras de qualidade.

As lajes mistas aço-betão são constituídas por chapas de aço nervuradas prefabricadas, geralmente em aço leve enformado a frio, sobre as quais é colocado o betão. As chapas podem ser directamente fixadas, através de parafusos ou rebites, no sistema de vigamento (madeira ou aço) dos pavimentos. A utilização das chapas perfiladas tem a grande vantagem de assegurar simultaneamente as funções de cofragem perdida e elemento resistente à tracção. Por outro lado, as nervuras das chapas, para além de proporcionarem uma maior aderência do aço ao betão, podem funcionar como caixa para condutas de cabos eléctricos e outros fins [12]. Actualmente existem no mercado inúmeras secções de chapas, em termos de espessura e geometria, para as mais diversas solicitações [12].

Com o intuito de diminuir o peso próprio da solução, e consequentemente obterem-se melhores desempenhos da estrutura quando solicitada a acções horizontais, o betão poderá conter agregados leves, como é o caso de grânulos de argila expandida, à semelhança do referido para as soluções mistas de madeira-betão.

Em termos de execução em obra, este tipo de solução requer soluções de projecto bem detalhadas, planos de montagem, bem como uma mão-de-obra especializada para a sua instalação. Contudo, as chapas prefabricadas, por serem relativamente leves, são fáceis de transportar, manusear e instalar. A facilidade de transporte e de manuseio, por vezes podem ser factores condicionantes, especialmente quando se tratam de intervenções em bairros históricos com ruas apertadas, onde por vezes não se torna possível instalar um estaleiro em condições, nem gruas ou outros equipamentos de suspensão que permitam a elevação de materiais pesados, como são os casos das pré-lajes, vigas metálicas e vigas de madeira maciça. No entanto, estes factores poderão também ser condicionadores para esta solução, uma vez que, para grandes quantidades de betão poderá ser necessário proceder a betonagem executada através de tanques de bombagem (o que em algumas situações, não será possível).

Em termos das novas exigências funcionais, nomeadamente em termos térmicos e acústicos deverão ainda tecer-se algumas considerações. Face às exigências de isolamento térmico (nomeadamente para o caso das lajes de cobertura ou de separação de um espaço aquecido de um não aquecido) este tipo de solução não garante por si só o isolamento térmico necessário, sendo, nestes casos, necessário introduzir uma camada de material com características de isolamento térmico. Do ponto de vista de isolamento acústico, interessa referir que quanto mais salientes forem as nervuras, menor será o valor de isolamento acústico.

Quando comparadas com as estruturas de betão armado, para além de constituírem soluções mais leves, apresentam como vantagem a redução do tempo de execução e mão-de-obra, associada aos serviços de corte, dobragem e montagem das armaduras, e consequente redução de custos relacionados com estas operações.

No entanto, ao adoptar-se este tipo de solução terá de ter-se o cuidado de garantir a solidarização entre o aço e o betão, bem como a protecção dos elementos metálicos contra a corrosão. Outro dos cuidados a ter em conta neste tipo de solução é a resistência ao fogo desta solução. No entanto, nos tectos a face exposta corresponde à chapa, cujo comportamento face ao fogo é inferior ao do betão. Porém, tendo em consideração que grande parte dos revestimentos de tecto, adoptados para as soluções estruturais, são constituídos por placas de gesso cartonado, poderá fazer-se face a este problema, sobretudo quando se recorre a placas de gesso cartonado com maiores resistência ao fogo.

Conclusões

Em termos de projecto de intervenção de reabilitação em pavimentos e coberturas procedeu-se à análise da metodologias genericamente aceite pela comunidade internacional. Constata-se que o tipo de intervenções eticamente e tecnicamente mais viável passa, sempre que possível, por reparações pontuais ao nível dos elementos estruturais, pela incorporação de materiais de isolamento térmico e eventualmente acústico, e ainda pela passagem de instalações prediais junto às estruturas de pavimentos e coberturas (como sejam sistemas de abastecimento de água, de drenagem de águas residuais, de telecomunicações, de gás). No entanto há situações de edifícios com elevado pé-direito em que se pretende criar novo pavimento intermédio, de forma a aumentar a área útil, ou outros casos em que a reparação da estrutura existente já não é viável. Nesses casos torna-se necessária a construção de raiz ou a substituição integral (ou quase) das estruturas de pavimento ou cobertura existentes. Analisaram-se, essencialmente em termos construtivos, diversos tipos de soluções de intervenções com base em elementos de madeira maciça, procurando reaplicar as soluções originalmente existentes, ou com base em vigas prefabricadas de derivados de madeira. Neste último caso salientaram-se as vantagens ao nível da sustentabilidade dos materiais e principalmente quanto à facilidade de associação a instalações prediais (que podem desenvolver-se ao nível da alma das vigas, e deste modo sem acarretar sobreespessuras nos pavimentos ou coberturas. Da mesma forma torna-se possível a incorporação de materiais de isolamento térmico e acústico, colocados entre as vigas, e com interrupções de pequena largura.

Em termos construtivos analisaram-se também soluções com base em estruturas metálicas que, mais que às anteriores, necessitam de conveniente fronteira com as paredes existentes, devido aos comportamentos entre os materiais das paredes e os elementos metálicos serem mais diferenciados. Sendo a estrutura constituída essencialmente por perfis metálicos, as zonas de interrupção na colocação dos materiais de isolamento térmico e acústico terão aqui mais importância e serão mais desfavoráveis. Entre as soluções recorrendo a vigas metálicas tradicionais e a sistemas mais inovadores com aço enformado a frio, estes últimos apresentam algumas vantagens ao nível do próprio material e das soluções construtivas que tornam possíveis, e ainda dos próprios processos de aplicação em obra. Quanto aos sistemas com base em betão armado foram referidas soluções de lajes executadas em obra, com os inevitáveis problemas de introdução de elevados pesos próprios e intercepção das paredes antigas com novos elementos com comportamentos muito diferenciados, e ainda dificuldades acrescidas quanto à associação a instalações prediais e introdução de elementos de isolamento térmico. Ao nível do isolamento a sons aéreos, devido à sua elevada massa, estas soluções apresentam um bom comportamento. Os sistemas mistos de aço e madeira basicamente mantêm os inconvenientes da solução anterior, quase como os sistemas de lajes mistas de aço e betão. Por serem soluções com elevado peso próprio, introduzem um aumento das cargas do edifício, o que muitas vezes implica a necessidade de reforçar a sua estrutura. Esses reforços geralmente efectuem-se através da introdução de uma estrutura reticulada de pilares e vigas onde as lajes passam a descarregar e que se desenvolve no interior das paredes, muitas vezes inserida na sua espessura, ou através de reforços das próprias paredes com recurso a camadas superficiais de betão projectado sobre armaduras metálicas protegidas contra a corrosão ou de fibra de vidro anti-álcalis. Em qualquer dos casos ocorrem muitas vezes problemas de incompatibilidade entre os materiais de reforço estrutural e as paredes antigas, que podem contribuir para acelerar a deterioração destas.

Espera-se que esta análise possa contribuir para que as opções tomadas quando se pretende proceder à introdução de um novo pavimento intermédio ou à substituição de estruturas de pavimento ou cobertura existentes possam ser mais fundamentadas. Com base no exposto, parecem poder salientar-se as soluções com base em vigas prefabricadas de madeira como apresentando o maior conjunto de vantagens para aplicações do tipo das analisadas.

Referências

- [1] AAVV: *Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico*, ICOMOS, 2004.
- [2] L. Schueremans: *Evaluation of bearing capacity and design of consolidation and strengthening by means of injections*, MSR September 2003, Karlsruhe, Germany.
- [3] J. P. Cruz: *Deterioração, Reparação e Reforço de Estruturas de Madeira*, Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Construção, Lisboa, IST, 1993.
- [4] A. Feio e P. Lourenço: *Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos*, Encontro Sobre a Madeira e suas Aplicações Nobres. Bem Utilizar a Madeira, Guimarães, Universidade do Minho, 2005.
- [5] C. J. Mettem and G. C. Robinson: *The Repair of Structural Timber*, International Timber Engineering Conference, London, 2-5 September 1991, p.4.56-4.65.
- [6] A. Feio e N. Rebelo: *Madeiras, Reabilitação Estrutural, Análise de Técnicas de Reforço em Estruturas de Madeira*, Engenharia e Vida N.37, Julho/Agosto 2007, Lisboa, p. 33-35.
- [7] J. Fiorelli: *Utilização de Fibras de Carbono e de Fibras de Vidro Para Reforço de Vigas de Madeira*, Dissertação apresentada à Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, São Paulo, 2002.
- [8] C. J. Mettem et al.: *Timber Frame Construction for Medium-Rise Buildings*, Structural Engineering and Materials 1998, Vol I (3), p. 253-262.
- [9] F. Lam: *Modern structural wood products*, Timber Construction, Structural Engineering and Materials (2001), 3, p.238-245.
- [10] www.jular.pt
- [11] D-L nº 80/2006 (4 de Abril) – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.
- [12] N. Silvestre e D. Camotim: *Comportamento de estruturas de aço enformado a frio e dimensionamento de acordo com o EC3-1-3*; LSK, Jornada Técnica, Utilização de Produtos em Aço Enformados a Frio na Construção, 27 de Outubro de 2006, Porto, p.33-53.
- [13] A. Santos: *Construção em Aço Leve Galvanizado*; LSK, Jornada Técnica, Utilização de Produtos em Aço Enformados a Frio na Construção, 27 de Outubro de 2006, Porto, p.67-82.
- [14] www.futureeng.com/reabilitacao.htm
- [15] H. Gervásio e L. Silva: *A sustentabilidade do aço e das estrutura metálica*; LSK, Jornada Técnica, Utilização de Produtos em Aço Enformados a Frio na Construção, 27 de Outubro de 2006, Porto, p.55-65.
- [16] J.M. Branco e P.J. Cruz: *Lajes Mistas de Madeira-Betão*; Engenharia Civil, Universidade do Minho, Número 15, 2002, p.5-18.

- [17] A. Ceccotti: *Composite concrete-timber structures*, Timber Construction, Structural Engineering and Materials (2002), 4, p.264-275.
- [18] www.constructalia.com